

紫外域高スペクトル分解能ライダーによる エアロゾルと雲の多元情報測定

Multi-Parameter Measurement of Aerosol and Clouds
by Ultraviolet High Spectral Resolution Lidar

小林 喬郎、河合 寿二、杉本 伸夫*

T. Kobayashi, H. Kawai and N. Sugimoto*

福井大学工学研究科, *国立環境研究所

University of Fukui, *National Institute for Environmental Research

Abstract

Development of accurate atmospheric observation systems of the troposphere is required for investigation of the correlation among the meteorological events relating with global warming issue. An ultraviolet high-spectral-resolution (HSR) lidar with depolarization detection has been developed using a narrowband Fabry-Perot interference filter. Ultraviolet laser is used in the system for high accuracy measurements and eye-safety characteristics as compared with visible lasers. Various meteorological phenomena have been observed. By simultaneous measurement of depolarization ratio with extinction coefficient and lidar ratio, it can be realized to separate and classify spherical and non-spherical aerosol, water clouds and ice clouds. Probability distribution of lidar ratio of aerosol and clouds has also been measured. The UV-HSR lidar system in combination with depolarization ratio measurement has shown a potential for classifying qualitative and quantitative information of aerosol and clouds and useful for analyzing the influences on the heat balance of the earth.

1. はじめに

エアロゾルや雲の消散係数、ライダー比、偏光解消度などの光学特性はそれらの熱収支による地球温暖化への影響が大きいため、それらの高精度で広域の大気観測システムの開発の必要性が高まってきた。そのためのライダーとしてミー散乱ライダー、ラマン散乱ライダー、高スペクトル分解能(HSR)ライダーなどが開発されてきた。ミー散乱ライダーは小型で簡易な装置であるためエアロゾルや雲の体積後方散乱係数を測定するのに用いられてきたが、エアロゾルモデルの仮定が必要であるため光学特性の測定精度が低い。ラマン散乱ライダーはエアロゾルや雲の消散係数を測定することができるが、散乱断面積が小さいため大出力レーザーが必要という欠点がある。それに対して HSR ライダーはヨウ素吸収フィルタやファブリーペロー(FP)フィルタを用いてレイリー散乱とミー散乱を分離することにより高精度で消散係数やライダー比を測定することが可能である。¹⁻⁴⁾ またラマン散乱に比べレイリー散乱は散乱断面積が約2桁大きいため、長距離測定や高精度な測定が可能である。また、ミー散乱の偏光測定ライダーは雲の観測に用いられており、偏光解消度より球形・非球形の粒子の判別が可能となっている。

そこで本研究では、偏光解消度測定機能を持った紫外域 HSR ライダーを初めて開発し、エアロゾルと雲の光学特性の測定し、種類などの判別可能性や出現頻度分布などを検討したのでその結果を報告する。

2. システム構成

図1に従来の HSR ライダーに偏光解消度の同時測定機能を付け加えたシステム構成を示す。光源には Nd:YAG レーザの紫外域波長 355nm の第三高調波を用いており、可視域波長と比較してアイセーフ特性とレイリー散乱光の散乱強度

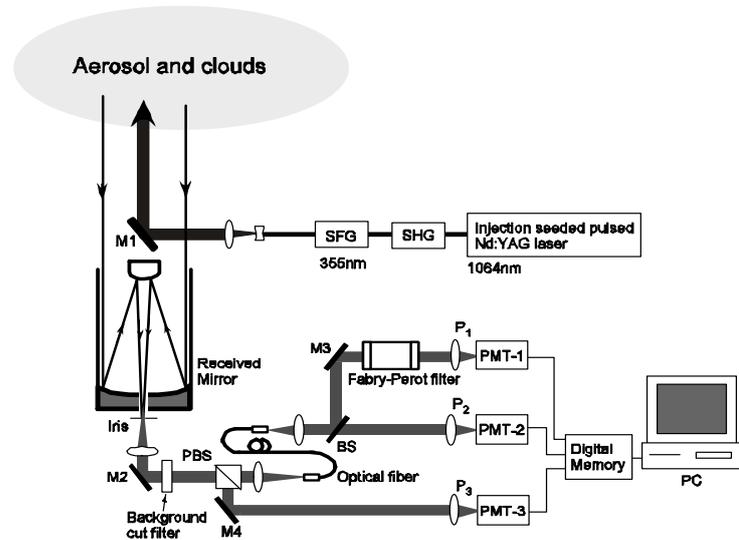


図1 UV 域 HSR ライダーシステムの構成

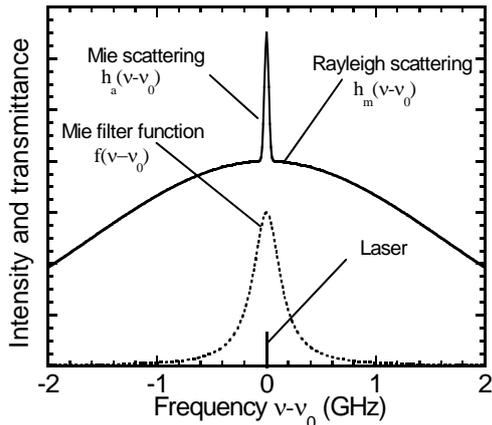


図2 散乱スペクトルとフィルタ関数

の増大を可能にしている。検出器には光電子増倍管 (PMT)を用いており、PMT-1とPMT-2はそれぞれレーザの偏光成分に対して平行成分のミー散乱及び全散乱光(ミー及びレイリー散乱光)を、PMT-3は垂直な成分の全散乱光を受信する。

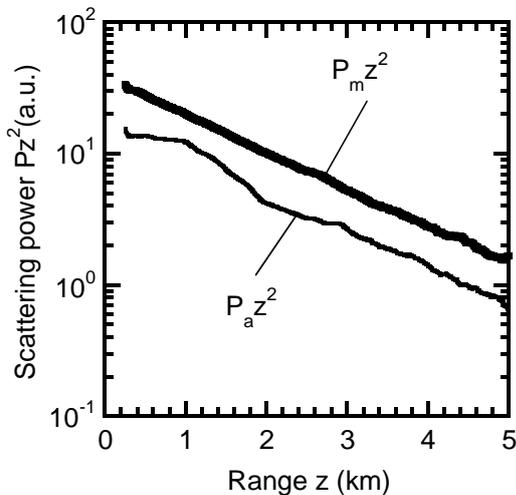
図2に大気からのミー散乱とレイリー散乱とフィルタのスペクトル関数を示す。FPフィルタはミー散乱を高効率に透過するように設計されている。

3. 観測結果

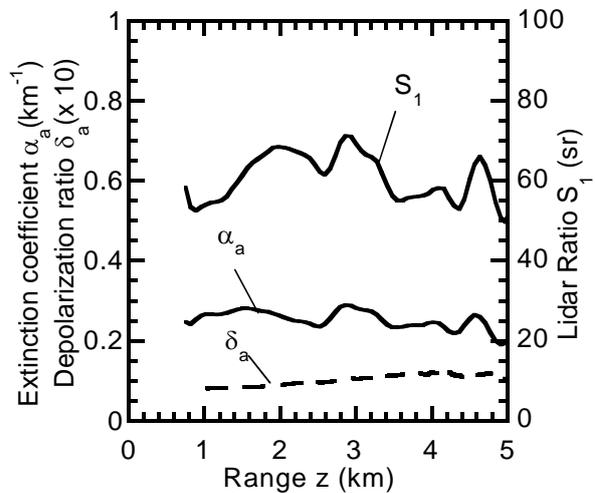
(1) 水平方向エアロゾルの測定

水平方向でのエアロゾルの光学特性の測定結果を図3に示す。図3(a)より、レイリー散乱パワーに対してミー散乱パワーが低い状態であり、薄い霞状態であることが分かる。(b)より距離0.8~5.0kmの間でエアロゾル消散係数 $\alpha_m=0.2\sim 0.25\text{ km}^{-1}$ 、ライダー比は55~65srとほぼ距離に対して一定となっている。また、エアロゾルの偏光解消度は0.01~0.015と小さいため、球形の水滴状のエアロゾルであったことが分かる。

このように水平方向での測定では大気中のエアロゾル濃度の空間分布がほぼ一定で均一である場合が多く、これよりシステムの測定精度と誤差の評価ができることが判明した。



(a)ミー散乱とレイリー散乱パワー



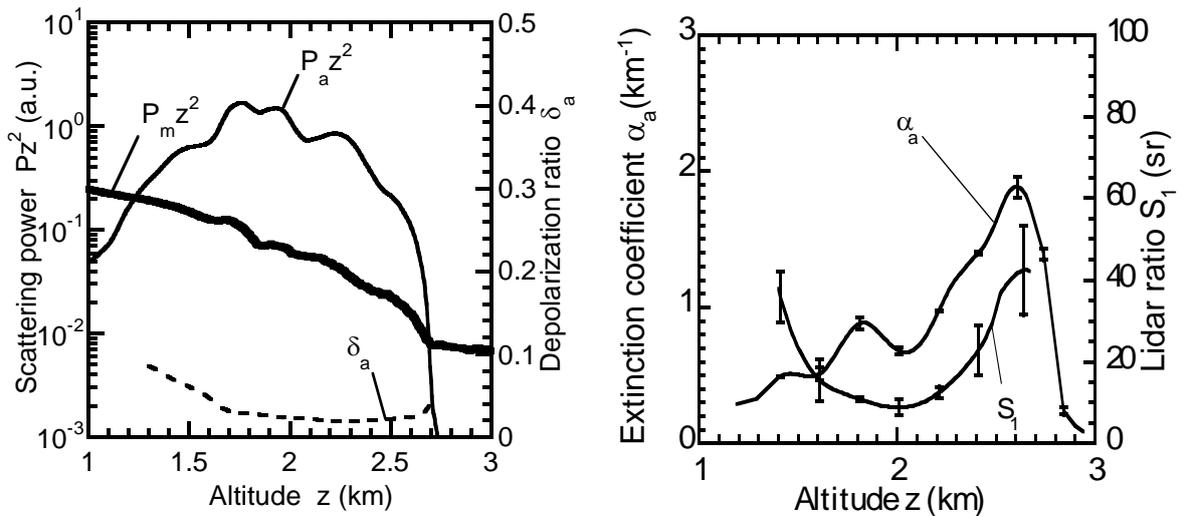
(b)エアロゾルの消散係数、偏光解消度とライダー比の距離分布

図3 水平方向エアロゾルの光学特性の空間分布

(測定日: 2007年1月9日、積算数: 8×10^3 shot、距離分解能: 200m)

(2) 水滴雲の測定

図4に垂直方向での雲の光学特性を示す。図4(a)より高度1.2~2.7kmに雲によるミー散乱パワーが強くなっており、また(b)よりエアロゾル消散係数が $0.5\sim 2.0\text{ km}^{-1}$ と大きいことが分かる。それに対して、ライダー比は雲の内部では10~30srとなり、低層のエアロゾルの場合に比べて小さくなっている。偏光解消度も0.02~0.1と低い値が測定され、球形の水滴雲であることが推定された。

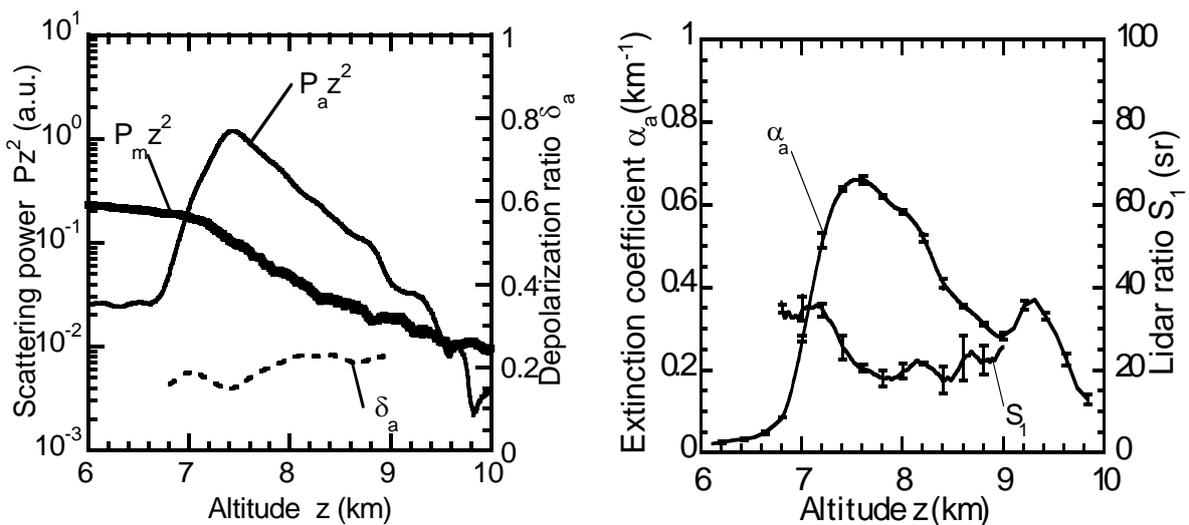


(a)ミー・レイリー散乱パワーと偏光解消度の高度分布 (b)エアロゾル消散係数とライダー比の高度分布

図4 水滴雲の光学特性の高度分布
(測定日：2007年1月11日、積算数： 4×10^3 shot、距離分解能：200m)

(3) 氷晶雲の測定

垂直方向での氷晶雲の測定結果を図5に示す。図5(a)より、高度6.8~9.5 kmに雲によるミー散乱パワーの増大があり、図5(b)ではエアロゾル消散係数が $0.1 \sim 0.7 \text{ km}^{-1}$ と高くなっていることが分かる。それに対して、ライダー比は雲により後方散乱係数が高くなったため20~30srと下層のエアロゾルの値に比べて低い値となっている。また、偏光解消度が0.16~0.22と高い値が測定されている。この時間帯は、地上気温が 0.3°C と低く、また雲の高度が7.0~9.0kmと高いことから非球形状の氷晶雲が観測されたものと判断される。



(a) ミー散乱・レイリー散乱パワーと偏光解消度の高度分布 (b)エアロゾル消散係数とライダー比の高度分布

図5 氷晶雲の光学特性の高度分布
(測定日：2007年1月5日、積算数： 4×10^4 shot、距離分解能：200m)

4. エアロゾルと雲の分類

エアロゾルと雲の消散係数と偏光解消度の値を 2006 年 4 月から 2007 年 1 月までの 10 ヶ月間にわたり測定した。図 6 に消散係数と偏光解消度に対し、球形と非球形エアロゾル、水滴雲と氷晶雲に分類した結果を示す。粒子の球形状は偏光解消度 0.05 以下とし、エアロゾルと雲の分類は消散係数 0.5 km^{-1} の値を境界値として採用した。このように偏光解消度と消散係数の同時測定により散乱体の形状と種類などが分類できることが判明した。

図 7 にエアロゾルと雲のライダー比の出現頻度分布を示す。雲は紫外光の吸収率が低く、エアロゾルは吸収率の幅が広く分布していることが分かる。これらの結果は、エアロゾルと雲の熱収支への影響評価のための有効な結果として利用できるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、エアロゾルと雲の偏光解消度を同時測定する紫外域 HSR ライダーシステムを開発し、エアロゾルと雲の光学特性を長期にわたり測定して解析を行った。その結果、偏光解消度と消散係数、ライダー比など多数の特性の同時測定により、散乱体の形状と種類の分類や吸収特性などが評価でき、広域のエアロゾルと雲の熱収支の解析が実現できる可能性が示された。

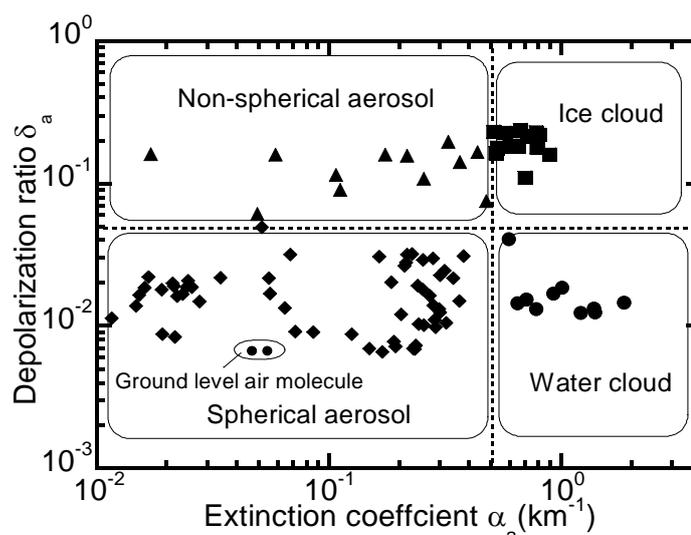


図 6 エアロゾルと雲の消散係数と偏光解消度による分類

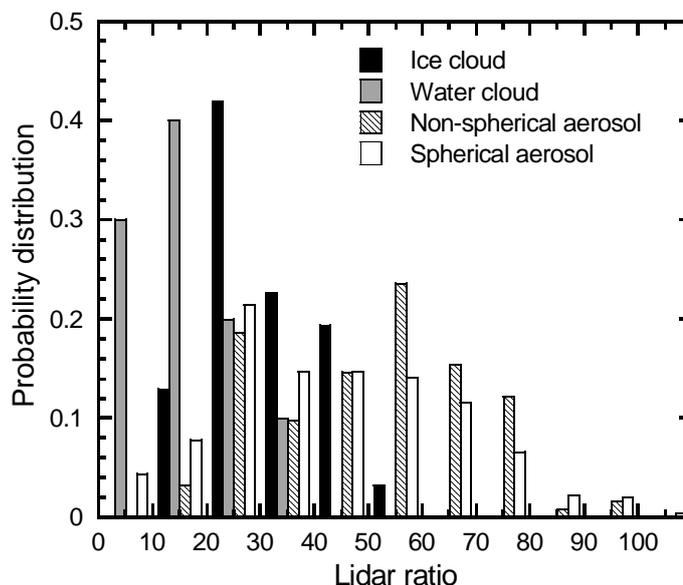


図 7 エアロゾルと雲のライダー比の出現頻度分布

謝辞：この研究は環境省地球環境研究総合推進費（B-4）の支援を得て行われたもので感謝致します。

参考文献

- 1) C. J. Grund, E. W. Eloranta, "University of Wisconsin high spectral resolution lidar," Opt. Eng. 30, 6-13 (1991).
- 2) Z. Liu, I. Matsui, N. Sugimoto, "High-spectral-resolution lidar using an iodine absorption filter for atmospheric measurements," Opt. Eng. 38, 1661-1670 (1999).
- 3) M. Imaki, Y. Takegoshi, T. Kobayashi, "Ultraviolet high-spectral-resolution lidar using Fabry-Perot filter for accurate measurement of extinction and lidar ratio," Jpn. J. App. Phys. 44, pp.3063-3067 (2005).
- 4) B. Tatarov, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, "Two-year-observations of optical properties of the tropospheric aerosol and clouds by a high-spectral-resolution lidar over Tsukuba, Japan," 23rd international laser radar conference, 3P-17 (July. 2006)